

# インダストリー 4.0とケモトンに関する一考察

## A study of Industrie 4.0 and Chemotons

荒井 義則

ARAI Yoshinori

**要旨：**本ノートでは、細胞生命を詳細に記述するケモトンというシステムの一般化されたモデルを用いて、インダストリー 4.0を解析する。

**キーワード：**ケモトン、インダストリー 4.0、スマート工場群

### 1. はじめに

細胞生命をシステム論的に解析するモデルには「オートポイエーシス<sup>1</sup>」、「ケモトン<sup>2</sup>」などがある。

オートポイエーシスは「生命とは何か」という問いに答えようとするものであるが、非常に単純な描像であるため、他分野への適用も可能であった。まず、ルーマンにより社会学に用いられ、その後、法学、精神医学、教育学、倫理学、会計学など広範囲な分野に適用された<sup>3</sup>。

一方、ケモトンは細胞内部の機構を詳細に記述しているため、他の分野への適用はあまり行われてない。本ノートでは、ケモトンというシステムをインダストリー 4.0に適用し、その構造を解明する試みを行う。

### 2. インダストリー 4.0

ここでは、インダストリー 4.0の基盤をなすIoTについてまず概観する。

IoT (Internet of Things) は日本語では「物のインターネット」と約されるが、ここで「物」

とは「すべての（形のある）物」をさしている。インターネットは既に膨大な数のデジタル機器に接続されているが、今まではネットワークを通じて人と人がつながる形態が中心であった。IoTは、人と人の情報通信は今までどおり存在しているが、それ以外に物と物との情報通信、物と人との情報通信が可能となる。物と物がつながることにより、個人個人のデータが収集しやすくなり、このデータをもとにより良いサービスができるようになる。

IoTが可能となった要因は以下のとおりである<sup>4</sup>。

- ①物に搭載するセンサーの価格低下と種類の増加。
- ②端末の低価格化（スマートフォンが専用端末に置き換わった）。
- ③センサーから送られるデータをつなげる通信環境の整備・拡大。
- ④集めたデータの蓄積用インフラの整備と巨大なデータの高速分析技術の開発。

次にインダストリー 4.0を概観する。

インダストリー 4.0に関する定義（説明）はいくつかなされているが、その一つに以下のような定義（説明）がある<sup>5</sup>

インダストリー 4.0とは、ドイツの産学官が共同で取り組んでいる新しい製造業のコンセプトです。2011年にドイツ政府が策定した「ハイテク戦略2020行動計画」のひとつとして「インダストリー 4.0」が提唱されました。この内容を簡単にいうと、地域ごとに関係のあるメーカー群（これを産業クラスターといいます）のあいだをデジタル化・ネットワーク化することです。それにより産業クラスター単位で国際競争力をつけて、ドイツ製造製品の輸出拡大にとどまらず、デジタル化・ネットワーク化自体を輸出しようと目論んでいます。

また次のような定義（説明）もある<sup>6</sup>。

ITを使って製造業の競争力を高める取り組み。ドイツの国策で、産学官が連携して実現を目指す。「第4次産業革命」とも呼ばれる。生産設備からセンサーでデータを収集し、生産性を高める「スマート工場」の実現を目指す。スマート工場同士を互いに連携させることでSCM（サプライチェーン管理）の効率化を図る。中長期的にはドイツ国内の製造業全体をあたかも一つの大きなスマート工場として機能させる構想を持つ。

上記の定義（説明）に共通しているのは、地域の工場群をネットワークで結びより効率的な生産体制を目指すことであるが、その際工場の内外を結ぶネットワークにIoTを用い、より生産性

の高いシステムを目指すものである。現時点で完成しているシステムではないが、近年急速に進化する人工知能を組み込むことによりさらに高度化した生産システムが出現する可能性がある。

インダストリー 4.0において重要なのは、現状の生産体制の改良ではなく、IoTを含むネットワークを基本とする新たな生産基盤を創造し、かつその基盤を世界標準とし、そのネットワーク基盤そのものを売り上げるという点である。日本は新しいネットワーク基盤を作り、世界標準にするという面では出遅れており、最優先の課題として産官学が一体となって取り組む必要がある。

### 3. ケモトン<sup>7</sup>

ケモトンはオートポイエーシスと同様に生命（細胞）を説明するためにガンティーにより導入された概念である。細胞の構造は細胞膜と膜内の物質からなり、膜内の物質は細胞を維持するための物質と遺伝情報を保持する物質からなる。ケモトンもこの構造に対応して、細胞を3つのサブシステムからなるシステムとして説明する。オートポイエーシスは境界（細胞膜）と産出を中心として細胞を説明しているが、ケモトンは細胞内の活動および遺伝に関してもより詳細な描像を与えている。

ケモトンは自己触媒的な代謝ネットワーク、二重膜、複製を行い情報を保持する分子の3つのサブシステムからなる。まず、栄養物質が膜を通じて細胞内に取り入れられる。細胞内では各種の分子 $A_i$  ( $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3 \rightarrow A_4 \rightarrow A_5 \rightarrow \dots$ ) と中間部質からなる代謝ネットワークが栄養物質を処理する。このシステムは自己触媒的な化学サイクルであり、1分子の $A_1$ 分子から2分子の $A_1$ 分子が生成され、また、このサイクルで生成された（必要のない）物質は膜を通じて外部に放出される。さらに、このサイクルによって、2つの物質が生成され、それぞれ異なるサイクルに供給される。一つは膜の構成物Tの前駆体であり、Tの自己集合によりより膜が形成される。この自己集合により、膜が成長し自発的に分裂する。二つ目の物質は複製に関する物質であり、この物質が関与するサイクルで膜の構成物Tの前駆体から構成物Tを形成する際に必要な物質が副産物として生成される。このモデルでは、複製と膜の生成が共役している。

### 4. ケモトンとしてのインダストリー 4.0

### （１）二重膜

細胞は物理的な二重膜を持ち、選択的透過性により、必要な物質を吸収し、不必要な物質を放出する。この過程は細胞生命を説明するモデルであるケモトンにも存在している。

インダストリー 4.0の基本構造はITにより効率化されたスマート工場をネットワークでむすんだスマート工場群であるが、あるスマート工場群に含まれているかどうかは確実に判別できるので、物理的な膜ではないが、外部との境目は明確に存在する。このような判別可能性が二重膜にあたると考えられる。スマート工場群は必要なもの（情報・物質・人・資金）を吸収し、不必要なもの（廃棄物など）や人（退職者など）を外部に放出する。これが選択的透過性に当たる。

以上の考察により、ケモトンを構成する重要な要素である二重膜の存在が示された。

### （２）代謝システム

スマート工場群はサプライチェーン、バリューチェーンを構成しながら効率的な製品の生産を行なう。原材料から仕掛品を経て完成品になる生産工程はケモトンの代謝システムと考えられる。代謝システムはケモトンが存在し続け成長するためのシステムであるが、効率的な生産システムによる優れた製品の生産が工場群を存続させ成長させるので、このような生産工程は代謝システムとみなせる。ここで製作される製品は、大量生産用の製品のほかに、IoTの活用により得られる個人の情報に即して作成された製品も含まれる。

### （３）情報

ケモトンにおいても情報の処理は重要であったが、スマート工場群においても情報の処理は重要である。スマート工場群で対象となる情報は①生産に関する情報②原価関連の会計情報（原価計算、原価統制、原価低減、原価企画などに関する情報）③インターネットで集まる巨大な情報（IoTで集まる情報も含む）などがあるが、インターネットを通じて集まる集合知・巨大知を解析する技術も重要となる。

### （４）成長

ケモトン（細胞生命）は分裂し成長するが、スマート工場群が分裂して成長することはない。一つ一つのスマート工場が成長することによりスマート工場群も成長するが、これ以外にスマート工場群同士が結合して巨大化することもある（ドイツでは国内の製造業全体を一つの大きなスマート工場として機能させる構想がある）。

以上見てきたように、インダストリー 4.0(基礎としてのスマート工場群) はケモトンの特性を持つということが示せた。スマート工場群は生物ではないが、生物的な特性を持つことがわかる。

## 5. 終わりに

本ノートでは、インダストリー 4.0とケモトンを概観し、インダストリー 4.0がケモトンの特性を持つことを示した。インダストリー 4.0もケモトンも豊富な内容を持つ理論であるから、今後も両者の関係を研究していきたい。

## 注

1. オートポイエーシスについてはH.R.マトゥラーナ、F.J.ヴァレラ（1991）を参照。
2. ケモトンについてはTibor Ganti（2003, 2004）参照。
3. 社会学の応用についてはニクラス・ルーマン（1993、1995）を参照。法学、精神医学、教育学、倫理学についてはそれぞれG.トイプナー（1994）、河本英夫、L.チオンピ、花村誠一、W.ブランケンブルク（1994）、山下和也（2007）、山下和也（2005）を参照。会計学への適用は青柳文司（1992）、今井敏博（1996、1997）、田畑哲夫（2007）を参照。
4. 三菱総合研究所（編）『IoTまるわかり』日本経済新聞社、2015、38頁。
5. 三菱総合研究所（編）『IoTまるわかり』日本経済新聞社、2015、68頁。
6. 日経コンピュータ（編）『すぐわかるIoTビジネス200』日経BP、2016、9頁。
7. ここでの説明は主としてピエル・ルイジ・ルイージ（2009）による。

## 参考文献

H.R.マトゥラーナ、F.J.ヴァレラ（著）河本英夫（訳）『オートポイエーシス』国文社、1991.

Tibor Ganti, *The Principles of Life*, Oxford University Press, 2003.

Tibor Ganti, *Chemoton Theory*, Plenum, 2004.

ピエル・ルイジ・ルイーダ (著) 白川智弘、郡司ペギオー幸夫 (訳) 『創発する生命』NTT出版, 2009.

ニクラス・ルーマン (著) 佐藤勉 (監訳) 『社会システム理論 (上・下)』恒星社厚生閣, 1993、1995.

G.トイブナー (著) 土方透、野崎和義 (訳) 『オートポイエーシス・システムとしての法』未来社, 1994.

河本英夫、L.チオンピ、花村誠一、W.ブランケンブルク 『精神医学』青土社, 1998.

山下和也 『オートポイエーシスの教育』近代文芸社, 2007.

山下和也 『オートポイエーシスの倫理』近代文芸社, 2005.

青柳文司「会計と非会計」全在紋、永野則夫 (編著) 『現代会計の視界』中央経済社, 1992.

今井敏博「オートポイエーシスと会計」試論 『函館商学論究第28巻第2号』261頁, 1996.

今井敏博「オートポイエーシスと会計言語」 『函館商学論究第30巻第1号』77頁, 1997.

田畑哲夫「オートポイエーシスとしての内部統制」 『東海学園大学研究紀要第12号』77頁, 2007.

尾木藏人『決定版 インダストリー 4.0』東洋経済新報社, 2015.

長島聡『日本型インダストリー 4.0』日本経済新聞社, 2015.

三菱総合研究所 (編) 『IoTまるわかり』日本経済新聞社, 2015.

野村総合研究所基盤ソリューション企画部 『ITロードマップ2015版』東洋経済新報社, 2015.

野村総合研究所ICT・メディア産業コンサルティング部 『ITナビゲータ2016年版』東洋経済新報社, 2015.

『週間ダイヤモンド第103巻38号 (2015年10月3日号)』ダイヤモンド社.

『ハーバードビジネスレビュー別冊2016年1月号』ダイヤモンド社.

日経コンピュータ (編) 『すぐわかるIoTビジネス200』日経BP, 2016.

拙稿「会計情報システムとIoTに関する一考察」 『埼玉女子短期大学研究紀要第33号』1頁, 2016.